

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①⑪ N° de publication :

2 767 735

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national :

98 10824

⑤① Int Cl<sup>6</sup> : B 24 B 33/055, B 24 B 33/10

①⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 28.08.98.

③⑩ Priorité : 01.09.97 TW 86214921; 01.12.97 TW 86118024.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.03.99 Bulletin 99/09.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été établi à la date de publication de la demande.*

⑥⑩ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : UNITED MICROELECTRONICS CORPORATION — TW.

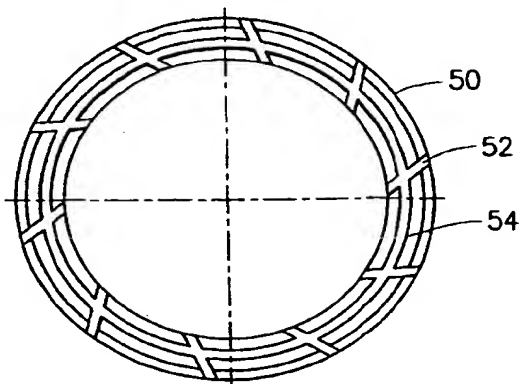
⑦② Inventeur(s) : LIN JUEN KUEN, LAI CHIEN HSIN, PENG PENG YIH, WU KUN LIN, CHIU DANIEL, YANG CHIH CHIANG, WU JUAN YUAN et CHIU HAO KUANG.

⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤④ MACHINE ET PROCEDE DE POLISSAGE CHIMIO-MECANIQUE ET MANCHON DE RETENUE UTILISE DANS CETTE MACHINE.

⑤⑦ Une machine de polissage chimio-mécanique comprend un manchon de retenue (50) ayant un ensemble de passages de suspension (52) à sa partie inférieure. Le manchon de retenue (50) comprend également un chemin circulaire (54). En faisant circuler la suspension à travers les passages de suspension (52) et le chemin circulaire (54), une tranche de semiconducteur est aplanie avec une excellente uniformité dans la machine de polissage chimio-mécanique.



FR 2 767 735 - A1



MACHINE ET PROCEDE DE POLISSAGE CHIMIO-MECANIQUE  
ET MANCHON DE RETENUE UTILISE DANS CETTE MACHINE

La présente invention concerne des technologies de fabrication de semiconducteurs, et elle concerne plus particulièrement une structure perfectionnée pour le manchon de retenue qui est utilisé sur la tête de polissage d'une machine de polissage chimio-mécanique (ou PCM), pour retenir une tranche de semiconducteur en position pendant l'accomplissement du processus de PCM.

Dans la fabrication des semiconducteurs, la technique de polissage chimio-mécanique (PCM) est largement utilisée pour l'aplanissement global de tranches de semiconducteur qui sont utilisées pour la fabrication de circuits intégrés à très haut niveau d'intégration (ou VLSI) et à ultra-haut niveau d'intégration (ou ULSI).

Les figures 1A et 1B sont des schémas montrant une machine de PCM classique. La machine de PCM comprend une table de polissage 10 sur laquelle est étendu un tampon de polissage 12, une tête de polissage 14 pour maintenir en position une tranche de semiconducteur 16, et une buse 18 pour appliquer une masse de suspension à la tranche de semiconducteur 16 pendant le processus de PCM.

La figure 1C montre une vue respective de la structure intérieure de la tête de polissage 14. Comme représenté, la tête de polissage 14 comprend des moyens pneumatiques 20 qui appliquent de l'air comprimé à un dispositif d'application de charge à la tranche, 22, qui est utilisé pour maintenir la tranche 16. De plus, un manchon de retenue 24 est monté autour du dispositif d'application de charge 22 et de la tranche 16, et il peut retenir la tranche 16 en une position fixe pendant le processus de PCM. En outre, un tampon d'amortissement (non représenté) est placé entre la tranche 16 et le dispositif d'application de charge 22.

Les figures 2A-2B montrent une structure classique pour le manchon de retenue 24. A travers la structure de manchon de retenue des figures 2A-2B, la suspension est fournie, pour le polissage, sous la tête de polissage 14, c'est-à-dire sur la surface d'une tranche à polir.

5 Cependant, en l'absence d'un conduit ou d'un passage approprié du manchon de retenue, la suspension est répartie de façon non uniforme sur la surface de la tranche. On trouve que la suspension ne peut pas circuler librement sur la surface de la tranche. Il apparaît ainsi des défauts tels qu'une grande plage d'exclusion sur le bord de la tranche, une

10 faible vitesse d'enlèvement de débris, une mauvaise utilisation de la suspension et une durée de vie réduite du tampon d'amortissement. La figure 3 montre la planéité de surface résultante de la tranche après avoir subi un processus de PCM utilisant le manchon de retenue des figures 2A-2B. La représentation graphique de la figure 3 montre l'épaisseur de

15 la tranche en relation avec les divers points d'une ligne droite passant par le centre de rotation de la tranche. D'après le tracé qui est représenté sur la figure 3, on peut voir que la planéité n'est pas pleinement satisfaisante. L'écart-type des données d'épaisseur est d'environ 5,06%.

Un but de la présente invention est donc de procurer un nouveau manchon de retenue pour l'utilisation sur la tête de polissage d'un

20 machine de PCM. Le nouveau manchon de retenue dans la machine de PCM permet de fournir la suspension plus uniformément sur la surface d'une tranche. Ceci résout donc les problèmes mentionnés ci-dessus qui sont occasionnés par l'utilisation de la machine de PCM classique, tels

25 qu'une grande plage d'exclusion au bord de la tranche, une faible vitesse d'enlèvement de débris, une mauvaise utilisation de la suspension et une durée de vie réduite du tampon d'amortissement.

Un autre but de l'invention est de procurer un procédé de fabrication pour une tranche. La tranche est aplanie par le procédé de PCM

30 utilisant la machine de PCM avec un nouveau manchon de retenue, pour obtenir une planéité fortement améliorée.

Conformément aux buts précédents et à d'autres, la présente invention procure un manchon de retenue pour l'utilisation sur la tête de polissage d'une machine de PCM. Le manchon de retenue comprend un

35 ensemble de passages de suspension qui sont formés au bord inférieur

du manchon de retenue. Les passages de suspension sont pratiquement équadistants, et chacun des passages de suspension est incliné radialement de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à la suspension se trouvant à l'extérieur du manchon de retenue, lorsque ce dernier tourne.

Conformément à un premier mode de réalisation de l'invention, un manchon de retenue comporte un ensemble de rainures rectilignes uniformément espacées autour du bas du manchon de retenue. Chacune des rainures rectilignes est inclinée radialement de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à la suspension qui se trouve à l'extérieur du manchon de retenue lorsque ce dernier tourne.

Conformément à un second mode de réalisation de l'invention, le manchon de retenue comprend en outre un chemin circulaire au bas, entre la périphérie intérieure et la périphérie extérieure du manchon de retenue. La configuration des rainures rectilignes uniformément espacées a pour action d'attirer la suspension vers l'intérieur du manchon de retenue, à partir de toutes les directions radiales, ce qui permet à la suspension de s'étaler uniformément sur la tranche qui est maintenue à l'intérieur du manchon de retenue. En outre, la présence du chemin circulaire permet à la suspension d'être emmagasinée en tampon par ce chemin et de circuler dans celui-ci, grâce à quoi les parties de bord de la tranche proches des extrémités intérieures des rainures rectilignes peuvent recevoir un écoulement de suspension qui a été emmagasiné en tampon.

Dans le troisième mode de réalisation, les passages de suspension sont conçus avec un chemin pour la suspension qui s'agrandit progressivement à partir d'une entrée jusqu'à une sortie de celui-ci, avec un angle de diffusion compris entre 0° et 10°, et avec un angle d'attaque  $\varphi_1$  qui est calculé par la relation :

$$\sin \varphi_1 = \frac{x}{\ell}$$

dans laquelle  $x$  est la distance minimale entre une ligne tangente d'un point d'entrée et une ligne tangente d'un point de sortie,  $\ell$  est une longueur de chemin de chacun des passages de suspension.

Dans le quatrième mode de réalisation, le manchon de retenue est formé avec une combinaison des passages de suspension du troisième mode de réalisation et du chemin circulaire du second mode de réalisation.

5 Pour atteindre les buts de l'invention, celle-ci procure également un procédé de fabrication. Pour aplanir une tranche sur laquelle se trouve une couche déposée, on dispose la tranche à l'intérieur d'une tête de polissage, avec la couche déposée dirigée vers le bas et faisant face à la table de polissage. On retient la tranche à l'intérieur de la tête d  
10 polissage avec un manchon de retenue, et le manchon de retenue comprend un ensemble de passages de suspension. On fournit une suspension à partir d'un dispositif d'alimentation en suspension, pour que celle-ci soit répartie uniformément sur la couche déposée, à travers le manchon de retenue. On fait tourner la table de polissage et on fait tourner la  
15 tête de polissage sur elle-même pour atteindre le but de l'invention, et celle-ci procure donc également un procédé de fabrication.

Dans un autre mode de réalisation, l'invention procure un procédé de traitement chimio-mécanique. On forme une couche déposée sur une tranche. On effectue un traitement chimio-mécanique de la couche  
20 déposée, en utilisant une machine de polissage chimio-mécanique avec un manchon de retenue ayant un ensemble de passages de suspension à sa partie inférieure.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre de modes de  
25 réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La suite de la description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1A est une vue de dessus schématique d'une machine de PCM pour effectuer un traitement de PCM sur une tranche de semi-conducteur;

30 La figure 1B est une coupe schématique de la machine de PCM de la figure 1A;

La figure 1C est une coupe montrant une structure intérieure détaillée de la tête de polissage qui est utilisée dans la machine de PCM des figures 1A et 1B;

35 La figure 2A est une vue de dessus schématique d'un manchon

de retenue classique qui est utilisé sur la tête de polissage de la figure 1C;

La figure 2B est une vue de dessous schématique du manchon de retenue classique de la figure 2A;

5 La figure 3 est une représentation graphique montrant la planéité résultante de la tranche de semiconducteur après avoir subi un traitement de PCM utilisant le manchon de retenue classique des figures 2A-2B;

10 La figure 4A est une vue de dessus schématique d'un premier mode de réalisation du manchon de retenue conforme à l'invention;

La figure 4B est une vue de dessous schématique du manchon de retenue de la figure 4A;

La figure 5A est une vue de dessus schématique d'un second mode de réalisation du manchon de retenue conforme à l'invention;

15 La figure 5B est une vue de dessous schématique du manchon de retenue de la figure 5A;

La figure 6 est une représentation graphique montrant la planéité résultante de la tranche de semiconducteur après avoir subi un traitement de PCM utilisant le manchon de retenue des figures 4A-4B;

20 La figure 7 est une représentation graphique montrant la planéité résultante de la tranche de semiconducteur après avoir subi un traitement de PCM utilisant le manchon de retenue des figures 4A-4B;

La figure 8A et la figure 8B sont respectivement une vue de dessus et une vue de côté d'un manchon de retenue dans un troisième mode de réalisation conforme à l'invention;

25 La figure 8C est une coupe schématique du passage de suspension;

Les figures 9A à 9D montrent le mécanisme de l'écoulement de la suspension;

30 La figure 10 est une vue de dessus schématique d'un quatrième mode de réalisation du manchon de retenue conforme à l'invention;

Les figures 11A à 11B montrent des coupes illustrant le traitement pour l'aplanissement d'un manchon déposé sur une tranche;

35 Les figures 12A et 12B sont des coupes montrant un traitement d'attaque de réduction d'épaisseur;

Les figures 13A à 13D sont des coupes illustrant un procédé de fabrication d'une isolation par tranchées de faible profondeur, utilisant la machine chimio-mécanique que procure l'invention.

5 L'invention procure une structure perfectionnée d'un manchon de retenue. La structure perfectionnée du manchon de retenue permet de répartir uniformément sur la tranche la suspension qui est fournie pour polir la tranche. On décrira dans ce qui suit un premier mode de réalisation de l'invention, en se référant aux figures 4A-4B.

#### Premier mode de réalisation

10 La figure 4A est une vue de dessus schématique du manchon de retenue 40 dans le premier mode de réalisation conforme à l'invention, et la figure 4B est une vue de dessous schématique du manchon de retenue 40 qui est représenté sur la figure 4A. Le diamètre intérieur du manchon de retenue 40 est compris dans une plage allant d'environ 10 cm (4  
15 pouces) à environ 30 cm (12 pouces), ou même plus. Cependant, du fait que le manchon de retenue 40 a pour fonction de retenir une tranche de semiconducteur pendant le traitement de PCM, le diamètre intérieur réel du manchon de retenue 40 dépend donc de la taille de la tranche à polir. Comme représenté sur la figure 4B, le manchon de retenue 40 comporte  
20 un ensemble de chemins, de passages ou de conduits de suspension, 42. Les passages de suspension 42 peuvent être réalisés sous la forme d'rainures sous le manchon de retenue, de canaux ou de tubes à travers le manchon de retenue, ou de cavités ayant une autre forme. Dans ce mode de réalisation, on utilise des rainures rectilignes espacées à des inter-  
25 valles angulaires pratiquement égaux autour du manchon de retenue 40. Chacun de ces passages de suspension 42 est orienté sous un certain angle par rapport au rayon, de manière que son extrémité extérieure présente une position angulaire avancée par rapport à son extrémité intérieure, lorsqu'on considère la direction de rotation du manchon de retenue 40. Pendant l'accomplissement d'un traitement de polissage, le manchon de retenue 40 est mis en rotation avec une vitesse exigée, et ces  
30 passages de suspension 42 sont orientés avec un angle d'attaque aigu par rapport à la suspension qui est fournie à partir de l'extérieur du manchon de retenue 40. Par conséquent, la suspension circule librement sur  
35 la surface de la tranche à l'intérieur du manchon de retenue 40, en étant

fournie à travers le manchon de retenue 40, avec l'aide des passages de suspension 42. Dans le cas de la figure 4B, par exemple, l'orientation des rainures rectilignes 42 montre que le manchon de retenue 40 doit être mis en rotation en sens inverse d'horloge. On notera que l'homme de l'art pourrait réarranger d'une autre manière les passages de suspension 42, de façon que le manchon de retenue 40 soit mis en rotation en sens d'horloge pendant le polissage. Dans ce mode de réalisation, chacun des passages de suspension 42 a une largeur de 0,05 à 0,3 mm, et une profondeur de 2 à 4 mm. La largeur et la profondeur réelles de ces passages de suspension seront différentes en fonction des exigences spécifiques pour le traitement de polissage. L'espacement uniforme des passages de suspension 42 permet à la suspension d'être attirée à l'intérieur du manchon de retenue 40 en une quantité pratiquement égale à partir de toutes les directions radiales, ce qui permet à la suspension de s'étaler uniformément sur la surface de la tranche.

Les figures 6 et 7 montrent la planéité résultante d'une tranche qui a subi un traitement de PCM utilisant le manchon de retenue des figures 4A, 4B. La planéité est mesurée en termes de valeurs d'épaisseur le long d'une ligne droite passant par le centre de la tranche. D'après les représentations graphiques des figures 6 et 7, on voit que la planéité des échantillons de tranche est notablement meilleure que la planéité de la tranche qui est représentée sur la figure 3, résultant de l'utilisation du manchon de retenue de l'art antérieur des figures 2A, 2B. L'écart-type d'épaisseur est de 0,92% dans le cas de la figure 6 et de 1,38% dans le cas de la figure 7, ces deux valeurs étant notablement meilleures que l'écart-type de 5,06% dans le cas de la figure 3. Cependant, comme représenté sur la figure 7, du fait que les parties de bord de la tranche proches des extrémités intérieures des passages de suspension 42 recevront une plus grande quantité de suspension que d'autres parties de la tranche, l'effet de polissage est plus important que dans d'autres parties. Par conséquent, l'épaisseur des parties de bord proches des passages de suspension est notablement inférieure à celle d'autres parties de la tranche.

#### Second mode de réalisation

La figure 5A est une vue de dessus schématique du second



mode de réalisation du manchon de retenue 50 conforme à l'invention, et la figure 5B est une vue de dessous schématique du manchon de retenue 50 qui est représenté sur la figure 5A.

Comme représenté sur la figure 5B, la conception des passages de suspension 52 du manchon de retenue 50 dans ce mode de réalisation est identique à celle du mode de réalisation précédent. Ainsi, ces passages de suspension 52 ont la forme de rainures rectilignes espacées de façon pratiquement égale. Chacun de ces passages de suspension 52 est orienté d'une manière similaire à celle du mode de réalisation précédent, et il est formé de façon similaire avec une largeur de 0,1 mm et une profondeur de 2 à 4 mm. Ici encore, la largeur et la profondeur des passages de suspension 52 dépendent des exigences spécifiques pour le traitement de polissage. Dans ce mode de réalisation, au moins un anneau circulaire formant une cavité, 54, par exemple une rainure circulaire, est formé à la surface inférieure du manchon de retenue 50, entre la périphérie extérieure et la périphérie intérieure du manchon de retenue 50, en rencontrant toutes les rainures rectilignes 52. L'anneau circulaire formant une cavité, 54, remplit la fonction d'un anneau tampon. La suspension qui est aspirée à travers les passages de suspension 52 est partiellement emmagasinée en tampon et mise en circulation dans l'anneau circulaire formant une cavité, 54, permettant ainsi aux parties de bord de la tranche qui sont proches des extrémités intérieures des passages de suspension 52 de recevoir seulement une partie de la suspension. Par conséquent, l'effet de polissage qui est obtenu avec le mode de réalisation précédent, c'est-à-dire une surface de la tranche aplanie de manière égale et uniforme, est obtenu sans former des parties de bord plus minces. L'anneau circulaire formant une cavité, 54, a une dimension similaire à celle des passages de suspension 52, c'est-à-dire une largeur d'environ 0,05 à 0,3 mm et une profondeur d'environ 2 à 4 mm.

Les deux modes de réalisation ci-dessus sont envisagés d'un point de vue qualitatif. Avec la formation des passages de suspension, ou même avec la rainure circulaire tampon qui rencontre les passages de suspension, on obtient un bien meilleur effet d'aplanissement. Cependant, dans les modes de réalisation ci-dessus, les paramètres tels que la forme détaillée des passages de suspension, l'angle d'attaque, c'est-à-

dire l'angle entre l'axe du passage de suspension et la tangente, et l'angle de diffusion, n'ont jamais été envisagés. Dans les modes de réalisation qui suivent, on adopte un point de vue quantitatif. On considère les paramètres qui déterminent l'écoulement de la suspension.

### 5 Troisième mode de réalisation

La figure 8A montre une vue de dessus schématique d'un manchon de retenue. Dans ce mode de réalisation, douze passages de suspension 82 sont formés au bas du manchon de retenue 80. On notera que l'homme de l'art pourra sélectionner un nombre différent de passages de suspension, conformément à des exigences spécifiques pour certains traitements de polissage. Si l'on considère un manchon de retenue 80 avec un diamètre extérieur de 25,40 cm et un diamètre intérieur de 22,86 cm, la largeur du manchon de retenue 80 est donc de 25,40 cm - 22,86 cm = 2,54 cm. La formation des passages de suspension 82 permet à la suspension de s'écouler en entrant dans le manchon de retenue et d'être répartie sur la surface de la tranche à polir. Comme mentionné ci-dessus, les passages de suspension 82 peuvent avoir la forme de tubes, de rainures, de canaux ou de trous de guidage pénétrant à travers la largeur totale du manchon de retenue 80. L'angle au centre entre deux passages de suspension consécutifs (deux passages voisins) 82 est désigné par  $\theta_1$ , et l'angle d'attaque de chaque passage de suspension 82 est désigné par  $\phi_1$ . On suppose que le diamètre de l'extrémité intérieure du passage de suspension 82 est  $d_2$ , tandis que celui de l'extrémité extérieure est  $d_1$ . La figure 8B montre une vue de côté schématique du manchon de retenue 80 avec les passages de suspension 82 ayant la forme de trous de guidage.

En traçant un axe passant par les centres d'un passage de suspension 82, un angle de diffusion  $\phi_2$  est défini comme l'angle entre l'axe et une périphérie du passage de suspension 82.

Les figures 9A à 9D illustrent le mécanisme du processus de polissage utilisant le manchon de retenue 80 qui est représenté sur les figures 8A à 8C. On suppose que la table de polissage 90 tourne avec une vitesse angulaire  $\omega_1$  et que la distance entre le centre de la table de polissage 90 et le centre de la tête de polissage 94 est  $\bar{r}_1$ . D'autre part, la tête de polissage 94 tourne avec une vitesse angulaire  $\omega_2$  et avec un

rayon de  $\bar{r}_2$ . Comme représenté sur la figure 9A, si on désigne par  $\theta_3$  l'angle entre  $\bar{r}_1$  et l'axe j, et par  $\theta_4$  l'angle entre  $\bar{r}_2$  et l'axe j, tout point à la périphérie de la tête de polissage 90 tourne donc avec une vitesse  $\bar{V}_h$ . On peut calculer la vitesse de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 5 \quad \bar{V}_h &= \bar{\omega}_1 \times (\bar{r}_1 + \bar{r}_2) + \bar{\omega}_2 \times \bar{r}_2 \\
 &= (r_1\omega_1 \cos\theta_3 + r_2\omega_1 \cos\theta_4 + r_2\omega_2 \cos\theta_4)i - (r_1\omega_1 \sin\theta_3 + r_2\omega_1 \sin\theta_4 \\
 &\quad + r_2\omega_2 \sin\theta_4)j \\
 &= Ai + Bj
 \end{aligned} \tag{1}$$

La figure 9B montre le mouvement du manchon de retenue 80. On notera que le mouvement du manchon de retenue 80 est en synchronisme avec celui de la tête de polissage 94 qui est représentée sur la figure 9A. Si l'on considère la formation des passages de suspension avec leur axe dans la direction de la vitesse du manchon de retenue 80, d'après la relation ci-dessus, la direction de la vitesse  $\bar{V}_h$ , c'est-à-dire l'angle d'attaque du passage de suspension, est :

$$\phi_1 = \tan^{-1} \frac{A}{B} \tag{2}$$

Pour un manchon de retenue 80 ayant une distance minimale de 1,25 cm entre la tangente du point d'entrée et la tangente du point de sortie, et une longueur du passage de suspension de  $l$ , on a :

$$20 \quad \sin\phi_1 = \frac{1,25}{l} \tag{3}$$

Le passage de suspension peut donc être conçu conformément aux paramètres déduits des relations ci-dessus.

La figure 9C montre un passage de suspension avec une entrée étroite et une sortie plus large. Ainsi, le passage de suspension a une aire de section droite plus grande à l'extrémité intérieure qu'à l'extrémité extérieure. Avec cette conception, le minimum de l'écoulement de suspension s'élargit progressivement, et le gradient de pression positif et la dé-

viation de l'écoulement de suspension sont modérés. La quantité de suspension qui est fournie à travers le passage de suspension est donc accrue. Comme représenté sur la figure,  $P_1$ ,  $A_1$  et  $V_1$  représentent respectivement la pression et l'aire de section droite de l'entrée, et la vitesse d'écoulement de suspension à l'entrée. D'autre part,  $P_2$ ,  $A_2$  et  $V_2$  représentent respectivement la pression et l'aire de section droite de la sortie, et la vitesse de l'écoulement de suspension à la sortie. On considère que la friction entre la suspension et le passage de suspension, et la force de gravité s'exerçant sur la suspension sont négligeables, et que la suspension est incompressible. Si l'angle de diffusion est  $\varphi_2$  et la longueur du passage est de  $l$ , on peut employer l'équation de Bernoulli en négligeant le tourbillon de l'écoulement de suspension à l'entrée, la barrière à la sortie, et toute vibration externe :

$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 = P_0 = \text{const.} \quad (4)$$

avec les notations suivantes :  $P$  est la pression,  $\rho$  est la masse volumique et  $V$  est la vitesse de l'écoulement, et  $P_0$  est la pression statique. En introduisant l'équation (4), le coefficient d'élasticité de pression  $C_p$  est :

$$C_p = \frac{P_2 - P_1}{P_0 - P_1} = 1 - \frac{P_0 - P_2}{P_0 - P_1} = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \quad (5)$$

D'après l'équation de continuité :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \quad (6)$$

Le coefficient d'élasticité de pression peut être obtenu sous la forme suivante :

$$C_p = 1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (7)$$

Par conséquent, plus  $C_p$  est élevé, plus le rapport  $A_1/A_2$  est grand. En outre, plus la valeur de  $A_1/A_2$  est grande, plus l'angle de diffusion  $\varphi_2$  est

ouvert, et plus la suspension pourra circuler librement, d'après ce qu'on peut prévoir. Cependant, lorsque l'angle de diffusion  $\varphi_2$  est augmenté au-dessus de  $10^\circ$ , un effet de déviation d'écoulement 91 ou un écoulement avec région d'annulation de la vitesse, 93, est induit. En outre, un écoulement inverse 95 peut être occasionné, ce qui fait que l'aire de section transversale est réduite.

Compte tenu des explications ci-dessus, pour concevoir le passage de suspension, on doit considérer les facteurs suivants : (1)  $\tan\varphi_2$ , (2)  $\varphi_2 < 10^\circ$  et (3)  $A_2/A_1$ . Pour un manchon de retenue 80 avec un diamètre extérieur de 25,40 cm et un diamètre intérieur de 22,86 cm (voir la figure 8A), le diamètre  $d_1$  de la section droite extérieure du passage de suspension 82 est d'environ 1 cm. D'autre part, le diamètre  $d_2$  de la section droite intérieure du passage de suspension 82 est d'environ 1,8 cm. L'angle au centre  $\theta_1$  entre les deux passages de suspension 82 voisins est d'environ  $30^\circ$ , et l'angle de diffusion  $\varphi_2$  de chaque passage de suspension est d'environ  $3^\circ$ .

#### Quatrième mode de réalisation

La figure 5 est une vue de dessus schématique du quatrième mode de réalisation du manchon de retenue 100 conforme à l'invention. La conception des passages de suspension 102 du manchon de retenue 100 dans ce mode de réalisation est identique à celle du troisième mode de réalisation. Ces passages de suspension 102 ont la forme de rainures espacées de façon pratiquement égale, avec une plus grande section transversale à l'extrémité intérieure et une plus petite section transversale à l'extrémité extérieure, c'est-à-dire une plus grande sortie et une plus petite entrée. Chacun de ces passages de suspension 102 est formé et orienté d'une manière similaire à celle du mode de réalisation précédent. Ici encore, la largeur et la profondeur des passages de suspension 102 dépendent des exigences spécifiques pour le traitement de polissage. Ainsi, les dimensions des passages de suspension 102 doivent être déterminées par les facteurs suivants : (1)  $\tan\varphi_2$ , (2)  $\varphi_2 \leq 10^\circ$  et (3)  $A_2/A_1$ , qui ont été introduits dans le troisième mode de réalisation. Dans ce mode de réalisation, au moins un chemin circulaire 104, par exemple une rainure, un tube, des canaux ou un trou de guidage circulaires, est formé à la surface inférieure du manchon de retenue 100, entre la péri-

périé extérieure et la périphérie intérieure du manchon de retenue 100, en rencontrant toutes les rainures rectilignes 102. Le chemin circulaire 104 remplit la fonction d'un anneau tampon. La suspension qui est aspirée à travers les passages de suspension 102 est partiellement emmagasinée en tampon et mise en circulation dans le chemin circulaire 104, grâce à quoi les parties de bord de la tranche qui sont proches des extrémités intérieures des passages de suspension 102 reçoivent seulement une partie de la suspension. Par conséquent, l'effet de polissage qui est obtenu avec le mode de réalisation précédent, c'est-à-dire un surface de la tranche aplanie de façon uniforme et égale, est obtenu sans former des parties de bord minces. Le chemin circulaire 104 a un dimension similaire à celle des passages de suspension 102.

#### Cinquième mode de réalisation

Dans la technologie des semiconducteurs, le polissage chimio-mécanique est la seule technique qui permette jusqu'à présent de réaliser un aplanissement global dans le processus de fabrication d'un circuit intégré à très haut niveau ou à ultra-haut niveau d'intégration. On peut appliquer le traitement de PCM dans de nombreux processus de fabrication, par exemple pour aplanir une surface inégale d'un substrat semiconducteur afin de favoriser le processus ultérieur, par exemple pour obtenir un alignement précis dans le processus d'attaque de photolithographie suivant. Le paragraphe suivant montre et décrit des exemples d fabrication d'un dispositif à semiconducteur par l'utilisation du PCM.

Sur la figure 11A, on trouve un substrat semiconducteur 100' ayant une surface inégale 110. On forme une couche déposée 120 sur le substrat semiconducteur 100'. La couche déposée 120 est donc formée avec une surface inégale, à cause de la surface inégale 110 sous-jacente. Dans l'invention, on utilise une machine de PCM comprenant le manchon de retenue avec des passages de suspension. La machine de PCM comprend une table de polissage, une tête de polissage faisant face à la table de polissage, et une source de suspension qui fournit une suspension sur la table de polissage, pour le polissage. Le manchon de retenue est disposé au bord inférieur de la tête de polissage. Le substrat semiconducteur 100' est disposé à l'intérieur de la tête de polissage et il est retenu par le manchon de retenue, avec la surface de la couche dé-

posée 120 faisant face à la table de polissage. La couche déposée 120 est ainsi aplanie. Il faut noter qu'avec la machine de PCM classique, du fait que la suspension est distribuée de façon inégale, la couche déposée 120 ne peut pas être aplanie avec une surface uniforme comme on le souhaite. En faisant passer la suspension à travers le passage de suspension du manchon de retenue, ou même à travers le chemin circulaire, la suspension est répartie uniformément sur la surface de la tranche, c'est-à-dire la surface de la couche déposée 120, et on peut obtenir une surface uniformément aplanie, comme représenté sur la figure 11B.

On peut également appliquer le traitement de PCM pour une attaque de réduction d'épaisseur, par exemple pour former un bouchon. Sur la figure 12A, on trouve un substrat 200 ayant une ouverture 210. On forme une couche déposée 220 sur le substrat 200 et de façon à remplir l'ouverture 210. Pour former un bouchon à l'intérieur de l'ouverture, on applique ensuite une attaque de réduction d'épaisseur à la couche déposée 220. Très souvent, on effectue un traitement de PCM pour le traitement d'attaque de réduction d'épaisseur. En utilisant une machine de PCM avec le manchon de retenue qui est introduit dans l'invention, un bouchon 220A avec une excellente uniformité est formé comme représenté sur la figure 12B.

Une autre application spécifique et largement utilisée pour le traitement de PCM est la fabrication d'une isolation par tranchées de faible profondeur. Les figures 13A à 13D montrent un procédé de formation d'une isolation par tranchées de faible profondeur. Sur la figure 13A, on forme sur un substrat 300, consistant de préférence en une tranche de silicium, une couche d'oxyde de plot 302 avec une épaisseur d'environ 10 nm à 15 nm. On forme une couche de masque 304, par exemple une couche de nitrure de silicium avec une épaisseur d'environ 100 nm à 300 nm, de façon à recouvrir la couche d'oxyde de plot 302. On forme une tranchée 306 avec une profondeur d'environ 0,5  $\mu\text{m}$ , par attaque à travers la couche de masque 304, la couche d'oxyde de plot 302 et le substrat 300.

Sur la figure 13B, on forme une couche d'oxyde de revêtement 308 le long de parois latérales de la tranchée 306 qui a été formée par attaque, avec une épaisseur allant d'environ 15 nm à environ 20 nm. On forme une couche d'isolation 310 de façon à recouvrir la couche de mas-

que 304 et à remplir la tranchée 306. On forme de préférence la couche d'isolation 310 avec une épaisseur d'environ 900 nm à environ 1100 nm. Une densification est habituellement effectuée ensuite de façon caractéristique, pour améliorer la qualité structurale.

5 Sur la figure 13C, en utilisant la couche de masque 304 à titre de couche d'arrêt, on polit par un traitement de PCM la couche d'isolation 310 représentée sur la figure 13B, pour former un bouchon d'isolation 310a. En utilisant une machine de PCM classique, du fait que la suspension ne peut pas être fournie en étant répartie uniformément sur la sur-  
10 face de la couche d'isolation 310, les particules qui sont contenues dans la suspension produisent des micro-rayures ou d'autres défauts. Sous l'effet de la formation de ces micro-rayures et défauts, dans le processus qui suit, un effet de pont ou de court-circuit électrique est susceptible d se produire. Le rendement de fabrication de produits est dégradé.

15 Dans l'invention, on utilise une machine de PCM ayant un manchon de retenue avec des passages de suspension. Le substrat 300 est retenu à l'intérieur du manchon de retenue comportant les passages d suspension. Pendant le polissage, la couche d'isolation 310 (figure 13B) est orientée vers le bas, de façon à faire face à un tampon de polissage sur une table de polissage de la machine de PCM, pour former un bou-  
20 chon d'isolation 310a, comme représenté sur la figure 13C. Du fait que la suspension de polissage est fournie de manière égale et est uniformément répartie sur la couche d'isolation 310, le bouchon d'isolation 310a est formé avec une structure uniforme, sans micro-rayures ou défauts. En  
25 utilisant un procédé classique, on enlève la couche de masque 304, ce qui fait que l'isolation par tranchées de faible profondeur est formée.

Il va de soi que de nombreuses modifications peuvent être apportées au dispositif et au procédé décrits et représentés, sans sortir du cadre de l'invention.



### REVENDICATIONS

1. Manchon de retenue (40, 50) prévu pour l'utilisation dans une machine de polissage chimio-mécanique, caractérisé en ce qu'il comprend un ensemble de passages de suspension (42, 52) s'étendant à  
5 partir d'une surface intérieure du manchon de retenue (40, 50) jusqu'à une surface extérieure de celui-ci, chacun des passages de suspension (42, 52) étant incliné en direction radiale de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à la suspension à l'extérieur du manchon de retenue (40, 50), lorsque ce dernier tourne.

10 2. Manchon de retenue selon la revendication 1, caractérisé en ce que ce manchon de retenue (50) comprend en outre un chemin circulaire (54) rencontrant les passages (52) entre la surface intérieure et la surface extérieure du manchon de retenue (50).

3. Machine de polissage chimio-mécanique, comprenant : une  
15 table de polissage (10); un tampon de polissage (12) sur la table de polissage; un dispositif de fourniture de suspension (18), pour fournir une suspension sur la table de polissage (10) pour polir une tranche (16); une tête de polissage (14) pour disposer la tranche (16) à l'intérieur; et un manchon de retenue (40), au bord inférieur de la tête de polissage (14),  
20 pour retenir la tranche (16); caractérisée en ce que : la tranche (16) est retenue par le manchon de retenue (40) avec sa surface à polir faisant face au tampon de polissage (12); et le manchon de retenue (40) comporte un ensemble de passages de suspension (42) pour diriger sur la surface de la tranche (16) la suspension qui est fournie par le dispositif  
25 de fourniture de suspension (18), à travers le manchon de retenue (40), et les passages de suspension (42) sont déviés par rapport à la direction radiale de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à l'écoulement de suspension à l'extérieur de la tête de polissage (14), pendant que la tête de polissage tourne pour le polissage.

30 4. Manchon de retenue (50) prévu pour l'utilisation dans une machine de polissage chimio-mécanique, caractérisé en ce qu'il comprend : un ensemble de passages de suspension (52) s'étendant à partir d'une surface intérieure jusqu'à une surface extérieure du manchon de retenue (50); et au moins un chemin circulaire (54) rencontrant les passages de suspension (52) entre une périphérie intérieure et un périphé-  
35

rie extérieure du manchon de retenue (50).

5. Manchon de retenue selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que les passages de suspension (42, 52) sont pratiquement équidistants.

5 6. Manchon de retenue selon la revendication 4, caractérisé en ce que les passages de suspension (52) sont déviés par rapport à la direction radiale de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à l'écoulement de suspension à l'extérieur du manchon de retenue (50).

10 7. Manchon de retenue selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que le manchon de retenue (40, 50) a un diamètre intérieur supérieur à environ 10 cm (4 pouces).

8. Manchon de retenue selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que le manchon de retenue (40, 50) comprend 10 passages de suspension (42, 52).

15 9. Manchon de retenue selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que chaque passage de suspension (42, 52) est formé avec une largeur de 0,05 à 0,3 mm et une profondeur de 2 à 4 mm.

20 10. Manchon de retenue selon la revendication 4, caractérisé en ce que la suspension a un chemin direct à travers les passages de suspension (52).

11. Manchon de retenue selon l'une quelconque des revendications 4 à 10, caractérisé en ce que le chemin circulaire (54) est formé avec une largeur de 0,05 à 0,3 mm et une profondeur de 2 à 4 mm.

25 12. Machine de polissage chimio-mécanique, comprenant : un table de polissage (10); un tampon de polissage (12) sur la table de polissage; un dispositif de fourniture de suspension (18), pour fournir une suspension sur la table de polissage (10) pour polir une tranche (16); une tête de polissage (14) pour disposer la tranche (16) à l'intérieur; et un manchon de retenue (50), au bord inférieur de la tête de polissage (14),  
30 pour retenir la tranche (16); caractérisée en ce que : la tranche (16) est retenue par le manchon de retenue (50) avec sa surface à polir faisant face au tampon de polissage (12); et le manchon de retenue (50) comprend en outre : un ensemble de passages de suspension (52) pour diriger sur la surface de la tranche (16) la suspension qui est fournie par le  
35 dispositif de fourniture de suspension (18), à travers le manchon de rete-

nue (50); et un chemin circulaire (54) rencontrant les passages de suspension (52) entre une périphérie intérieure et une périphérie extérieure du manchon de retenue (50).

13. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 12, caractérisée en ce que les passages de suspension (52) sont pratiquement équidistants.

14. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 12, caractérisée en ce que les passages de suspension (52) sont inclinés par rapport à la direction radiale de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à l'écoulement de suspension à l'extérieur du manchon de retenue (50).

15. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 3 ou 12, caractérisée en ce que le manchon de retenue (40, 50) a un diamètre intérieur supérieur à environ 10 cm (4 pouces).

15 16. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 3 ou 12, caractérisée en ce que chacun des passages de suspension (42, 52) est formé avec une largeur de 0,05 à 0,3 mm et une profondeur de 2 à 4 mm.

17. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 12, caractérisée en ce que le chemin circulaire (54) est formé avec une largeur de 0,05 à 0,3 mm et une profondeur de 2 à 4 mm.

18. Manchon de retenue (80, 100) prévu pour l'utilisation dans une machine de polissage chimio-mécanique, caractérisé en ce qu'il comprend en ensemble de passages de suspension (82, 102) pénétrant à travers le manchon de retenue (80, 100), chacun des passages de suspension (82, 102) ayant un chemin pour la suspension qui s'élargit progressivement depuis une entrée jusqu'à une sortie de celui-ci.

19. Manchon de retenue selon la revendication 18, caractérisé en ce que les passages de suspension (82, 102) sont conçus avec un angle de diffusion compris entre 0° et 10°, et un angle d'attaque  $\phi_1$  calculé d'après la relation :

$$\sin \phi_1 = \frac{x}{\ell}$$

dans laquelle  $x$  est la distance minimale entre une tangente d'un point d'entrée et une tangente d'un point de sortie, et  $\ell$  est une longueur de chemin de chacun des passages de suspension (82, 102).

5 20. Manchon de retenue selon la revendication 18 ou 19, caractérisé en ce que les passages de suspension comprennent en outre un chemin circulaire (104) rencontrant les passages de suspension (102) entre une surface intérieure et une surface extérieure du manchon de retenue (100).

10 21. Manchon de retenue selon la revendication 18, caractérisé en ce que chacun des passages de suspension (82, 102) a une aire de section droite d'une extrémité intérieure qui est plus grande qu'une aire de section droite d'une extrémité extérieure.

15 22. Manchon de retenue selon la revendication 1 ou 18, caractérisé en ce que chacun des passages de suspension (42, 52, 82, 102) a un chemin direct pour l'écoulement de la suspension.

23. Machine de polissage chimio-mécanique, comprenant : un table de polissage (10); un tampon de polissage (12) sur la table de polissage; un dispositif de fourniture de suspension (18), pour fournir une suspension sur la table de polissage (10) pour polir une tranche (16); une  
20 tête de polissage (14) pour disposer la tranche (16) à l'intérieur; et un manchon de retenue (100), au bord inférieur de la tête de polissage (14), pour retenir la tranche (16); caractérisée en ce que : la tranche est retenue par le manchon de retenue (100) avec sa surface à polir faisant face au tampon de polissage (12); et le manchon de retenue (100) comporte  
25 un ensemble de passages de suspension (102) pour diriger sur la surface de la tranche (16), à travers le manchon de retenue (100), la suspension qui est fournie par le dispositif de fourniture de suspension (18), et les passages de suspension (102) sont conçus de manière à avoir un chemin pour la suspension qui s'élargit progressivement à partir d'une extrémité  
30 d'entrée jusqu'à une extrémité de sortie de celui-ci.

24. Machine de polissage chimio-mécanique selon la revendication 23, caractérisée en ce que les passages de suspension (102) sont conçus avec un angle  $d$  de diffusion compris entre  $0^\circ$  et  $10^\circ$ , et un angle d'attaque  $\phi_1$  calculé à partir de la relation :

$$\sin \phi_1 = \frac{x}{\ell}$$

dans laquelle  $x$  est la distance minimale entre une tangente d'un point d'entrée et une tangente d'un point de sortie, et  $\ell$  est une longueur de chemin de chacun des passages de suspension (102).

5           25. Machine selon la revendication 23 ou 24, caractérisée en ce que les passages de suspension comprennent en outre au moins un chemin circulaire (104) rencontrant les passages de suspension (102) entrant une surface intérieure et une surface extérieure du manchon de retenue (100).

10           26. Machine selon la revendication 23, caractérisée en ce que chacun des passages de suspension (102) a une aire de section d'une extrémité intérieure plus grande qu'une aire de section droite d'une extrémité extérieure.

15           27. Procédé de polissage chimio-mécanique, pour aplanir une surface d'une tranche, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : on dispose la tranche (16) à l'intérieur d'une tête de polissage (14), avec la surface à polir tournée vers le bas, en faisant face à une table de polissage (10); on retient la tranche (16) à l'intérieur de la tête de polissage (14) avec un manchon de retenue (40), le manchon de retenue comprenant un ensemble de passages de suspension (42); on fournit  
20           une suspension à partir d'un dispositif de fourniture de suspension (18), la suspension étant uniformément répartie sur une couche déposée sur la tranche (16), à travers les passages de suspension (42) du manchon de retenue (40); et on fait tourner la table de polissage (10) et on fait tourner  
25           la tête de polissage (14) sur elle-même.

28. Procédé de polissage chimio-mécanique pour polir une tranche sur laquelle est formée une structure électronique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : on fournit la tranche (100'); on forme une couche déposée (120) sur la tranche; et on polit la couche déposée (120) en utilisant une machine de polissage chimio-mécanique  
30           comportant un manchon de retenue (40, 50, 80, 100) ayant un ensemble de passages de suspension (42, 52, 82, 102) s'étendant à partir d'une surface intérieure jusqu'à une surface extérieure du manchon de retenue.

pour obtenir une suspension répartie uniformément sur la couche déposée (120).

29. Procédé selon la revendication 27 ou 28, caractérisé en ce que les passages de suspension (42, 52, 82, 102) sont conçus de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à l'écoulement de suspension à l'extérieur d'une tête de polissage (14), pendant que la tête de polissage tourne pour effectuer le polissage.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 26, 27 ou 28, caractérisé en ce que le manchon de retenue (50, 100) comprend au moins un chemin circulaire (54, 104) rencontrant les passages de suspension (52, 102) entre une périphérie intérieure et une périphérie extérieure du manchon de retenue (50, 100).

31. Procédé selon la revendication 27 ou 28, caractérisé en ce que le manchon de retenue (50, 100) comprend en outre un chemin circulaire (54, 104) rencontrant les passages de suspension (52, 102) entre une périphérie intérieure et une périphérie extérieure du manchon de retenue (50, 100).

32. Procédé de fabrication d'une isolation par tranchées de faible profondeur dans un substrat (300), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : on forme une couche de masque (304) sur le substrat (300), la couche de masque ayant une ouverture qui met à nu une partie du substrat (300); on enlève une partie du substrat à nu (300) pour former une tranchée (306), en utilisant la couche de masque (304) à titre de masque; on forme une couche d'isolation (310) sur le substrat (300) et de façon à remplir la tranchée (306); et on utilise une machine de polissage chimio-mécanique avec un manchon de retenue (40, 50, 80, 100) ayant un ensemble de passages de suspension (42, 52, 82, 102), pour aplanir la couche d'isolation (310) en utilisant la couche de masque (304) à titre de couche d'arrêt.

33. Procédé de formation d'une isolation par tranchées de faible profondeur dans un substrat (300), caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes : on forme une couche de masque (304) sur le substrat (300); on effectue une opération d'attaque à travers la couche de masque (304) et le substrat (300) pour former une tranchée (306); on forme une couche d'isolation (310) sur la couche de masque (304), pour

remplir la tranchée (306) avec la couche d'isolation; et on retient le substrat (300) à l'intérieur d'un manchon de retenue (40, 50, 80, 100) d'une machine de polissage chimio-mécanique, avec la couche d'isolation (310) faisant face à un tampon de polissage (12) de la machine de polissage chimio-mécanique, le manchon de retenue (40, 50, 80, 100) ayant un ensemble de passages de suspension (42, 52, 82, 102), de façon qu'un dispositif de fourniture de suspension (18) de la machine de polissage chimio-mécanique fournisse une suspension de manière égale et uniforme sur la couche d'isolation (310); on polit la couche d'isolation (310) pour former un bouchon d'isolation (310a); et on enlève la couche de masque (304) pour former l'isolation par tranchées de faible profondeur.

34. Procédé selon la revendication 33, caractérisé en ce que le substrat (300) consiste en une tranche de silicium.

35. Procédé selon la revendication 33 ou 34, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de formation d'une couche d'oxyde de plot (302) sur le substrat (300), avant la formation de la couche de masque (304).

36. Procédé selon la revendication 33, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de formation d'une couche d'oxyde de revêtement (308) le long d'une paroi latérale de la tranchée (306) avant la formation de la couche d'isolation (310).

37. Procédé selon la revendication 33, caractérisé en ce que les passages de suspension (42, 52, 82, 102) sont déviés par rapport à la direction radiale de manière à former un angle d'attaque aigu par rapport à l'écoulement de suspension à l'extérieur du manchon de retenue (40, 50, 80, 100).

38. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27, 28 ou 33, caractérisé en ce que les passages de suspension (82, 102) sont conçus de manière à avoir un chemin pour la suspension qui s'élargit progressivement depuis une entrée jusqu'à une sortie de celui-ci.

39. Procédé selon l'une quelconque des revendications 27, 28 ou 33, caractérisé en ce que chacun des passages de suspension (82, 102) a un angle de diffusion compris entre  $0^\circ$  et  $10^\circ$ , et un angle d'attaque  $\varphi_1$  qui est calculé d'après la relation :

$$\sin \phi_1 = \frac{x}{\ell}$$

dans laquelle  $x$  est la distance minimale entre une tangente d'un point d'entrée et une tangente d'un point de sortie, et  $\ell$  est une longueur de chemin de chacun des passages de suspension (82, 102).

- 5            40. Procédé selon la revendication 33, caractérisé en ce que les passages de suspension comprennent en outre un chemin circulaire (54, 104) rencontrant les passages de suspension (52, 102) entre une surface intérieure et une surface extérieure du manchon de retenue (50, 100).



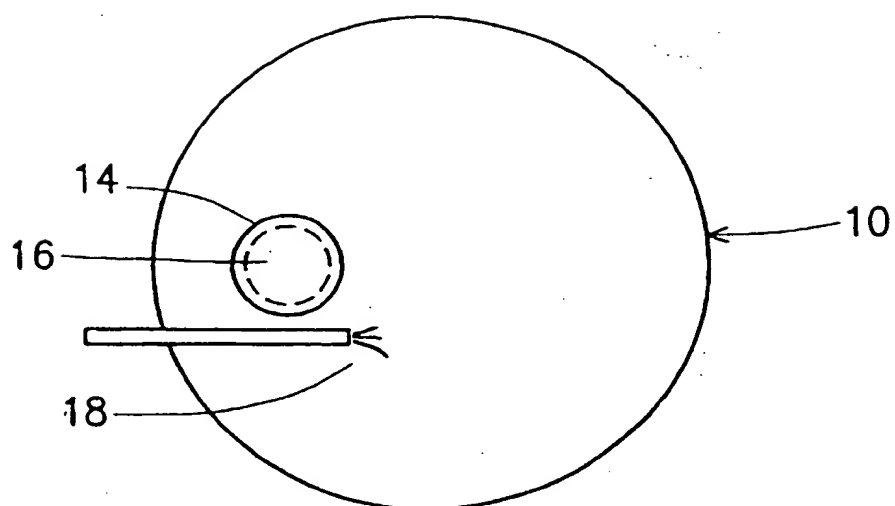


FIG. 1A

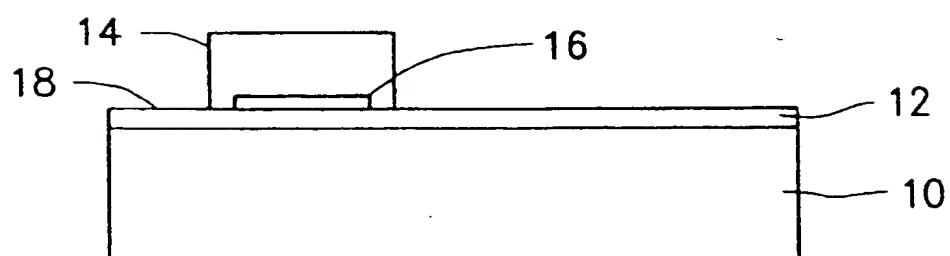


FIG. 1B

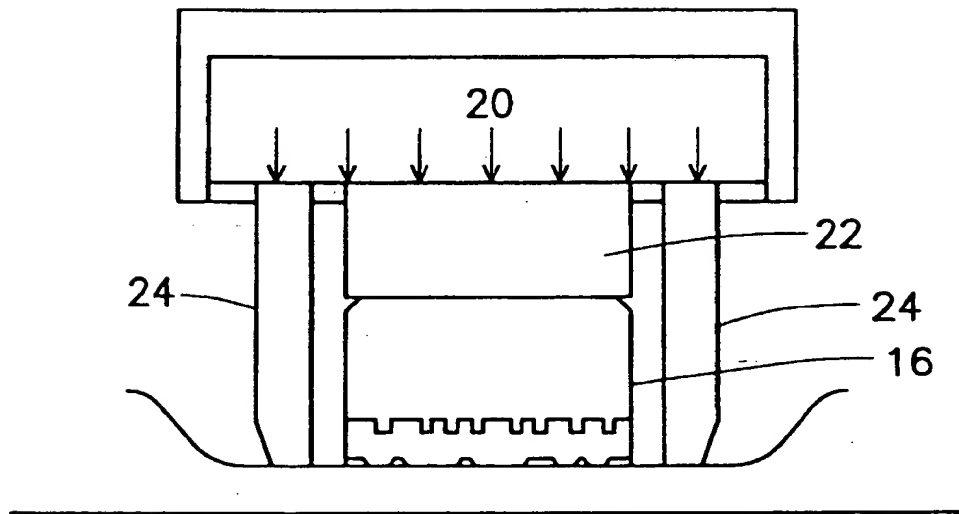


FIG. 1C

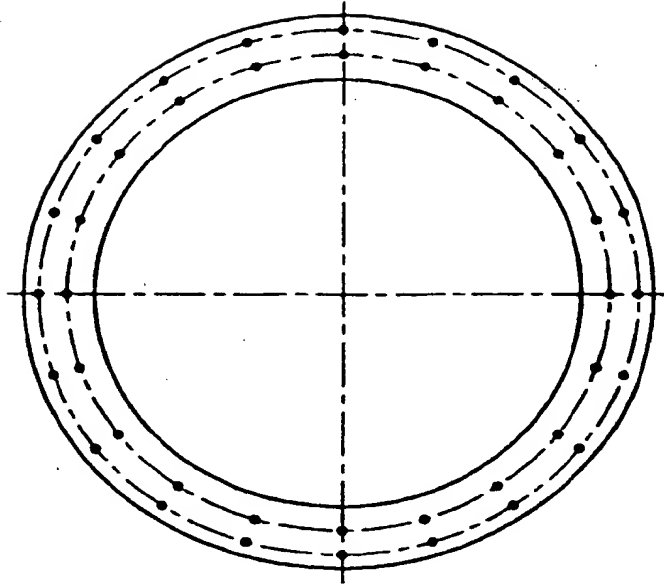


FIG. 2A

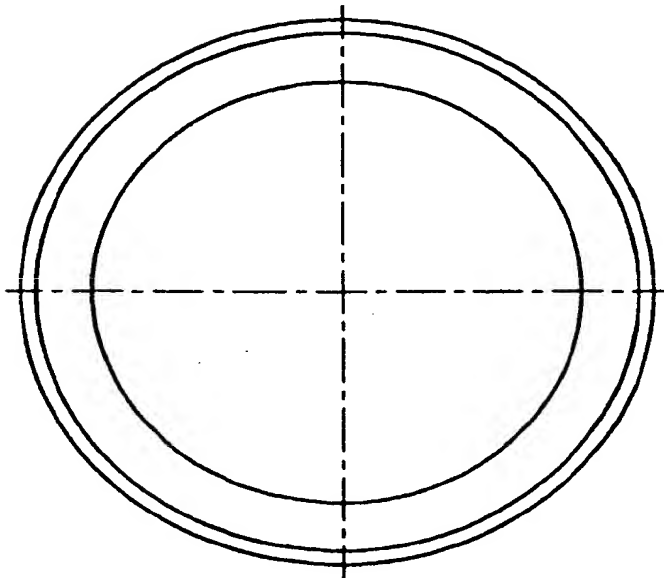
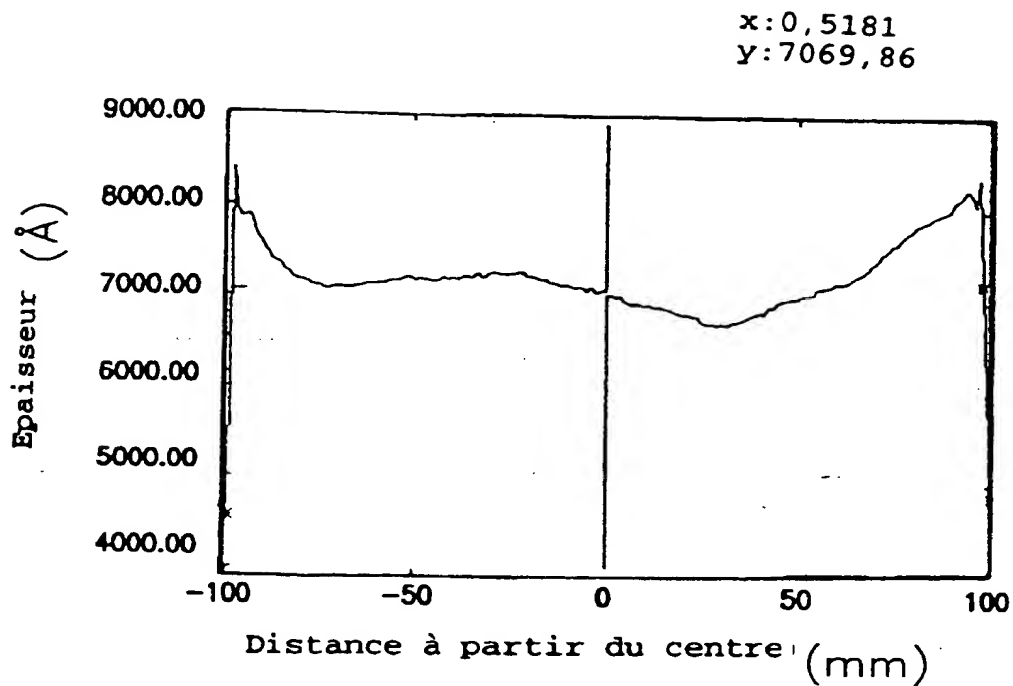


FIG. 2B



Moyenne : 7001,46 Å Plage : 293,92 Å  
Direction de balayage : Horizontale  
Ecart -type : 64,15 Å (0,92%)  
Position centrale : (0,000;0,000;)mm

FIG. 3

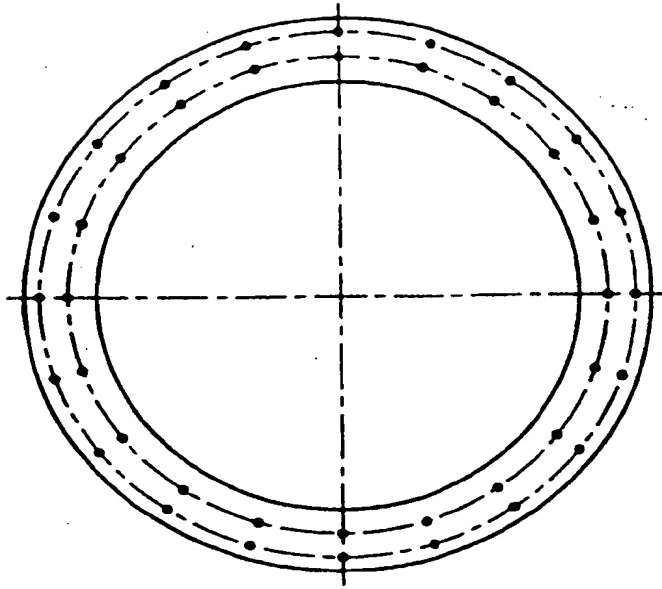


FIG. 4A

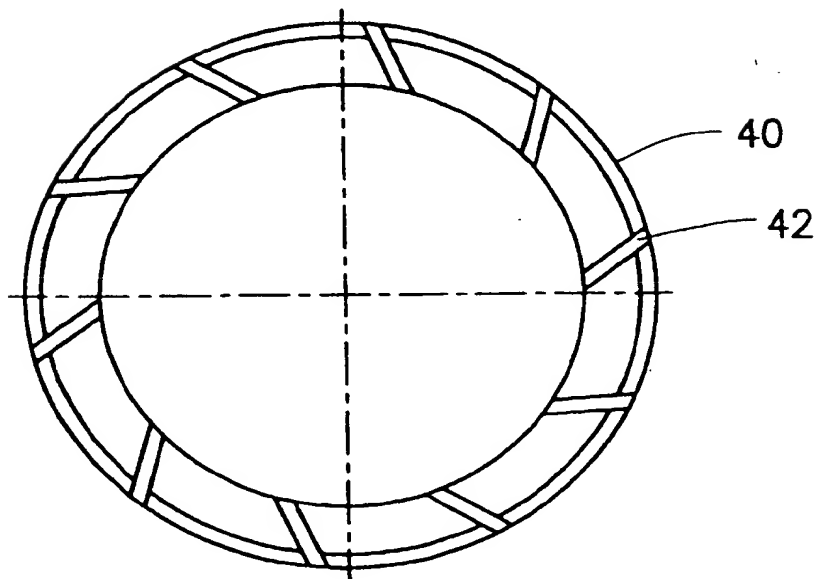


FIG. 4B

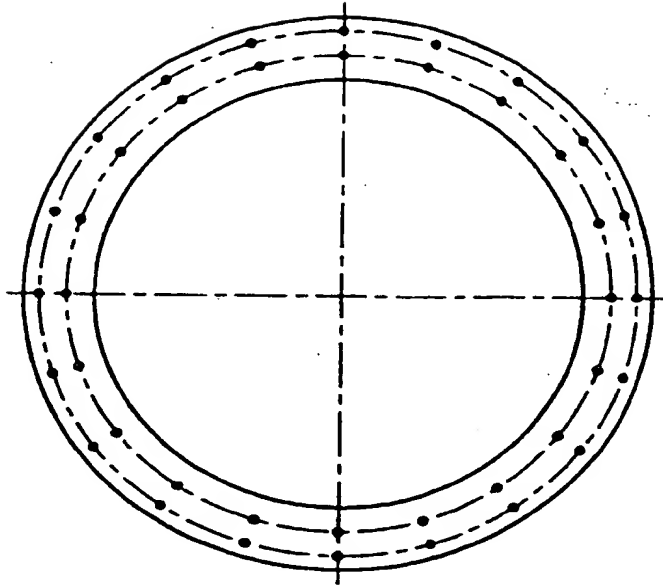


FIG. 5A

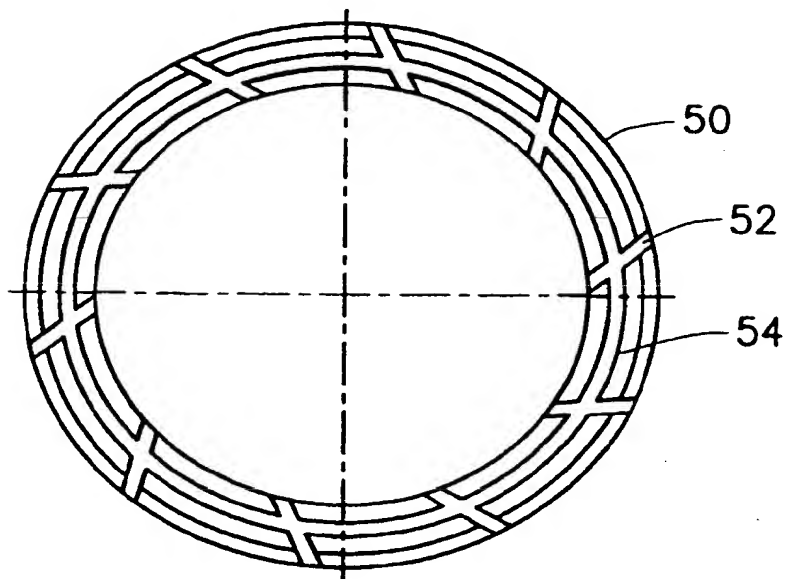


FIG. 5B

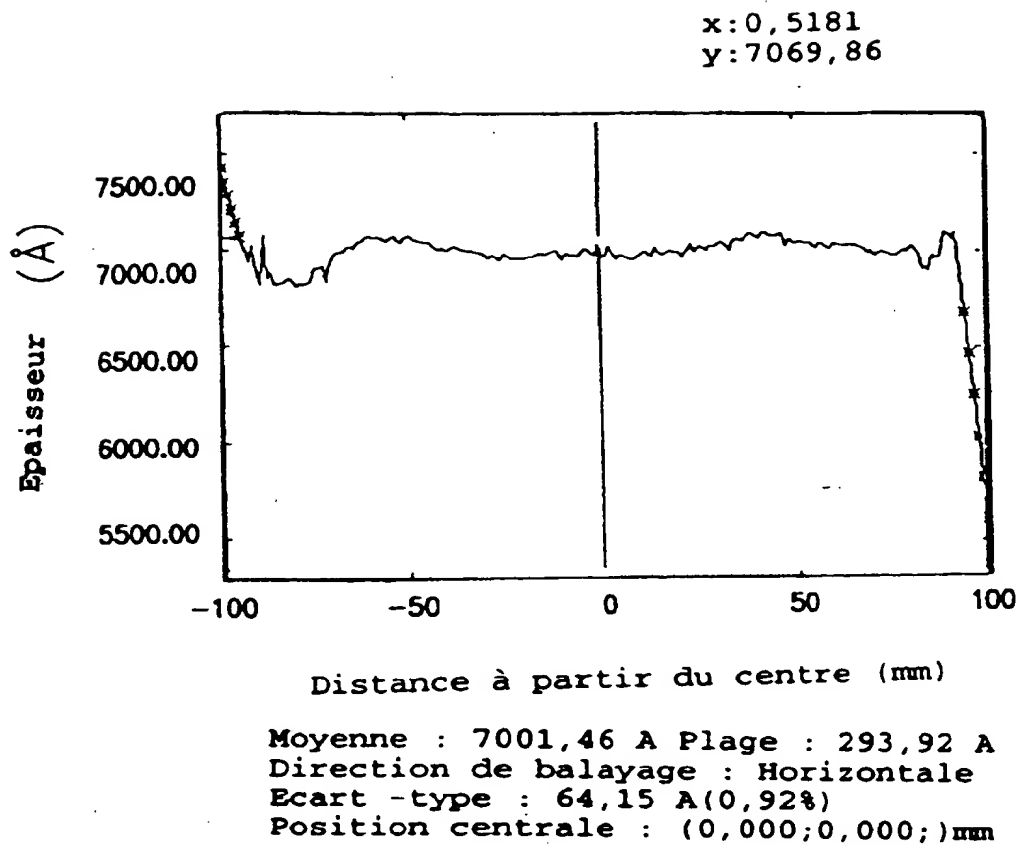
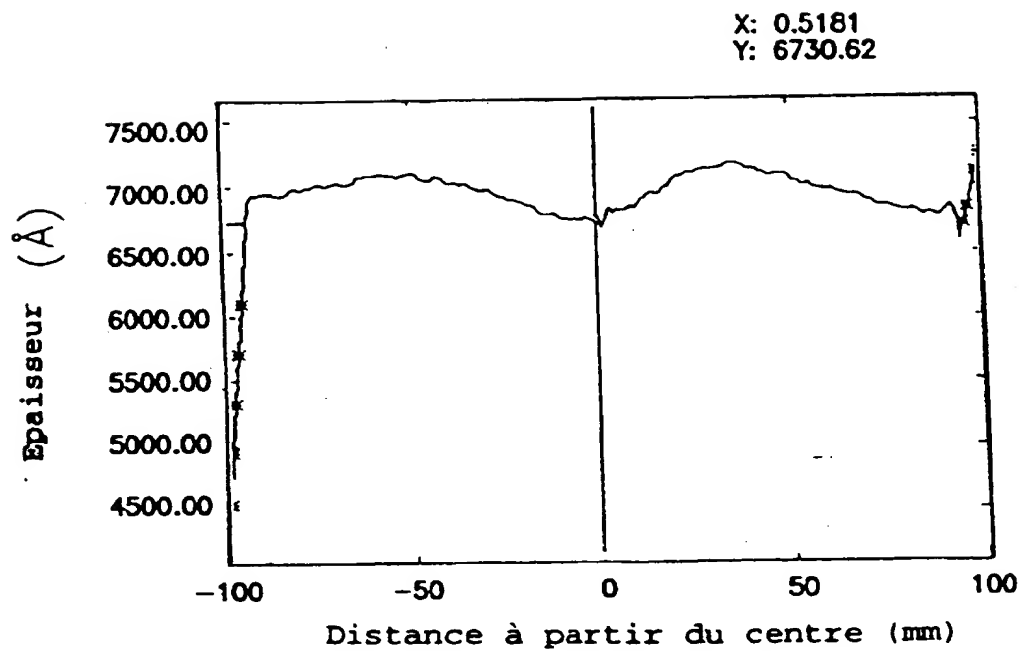


FIG. 6



Moyenne : 7001,46 Å Plage : 293,92 Å  
Direction de balayage : Horizontale  
Ecart -type : 64,15 Å(0,92%)  
Position centrale : (0,000;0,000;)mm

FIG. 7



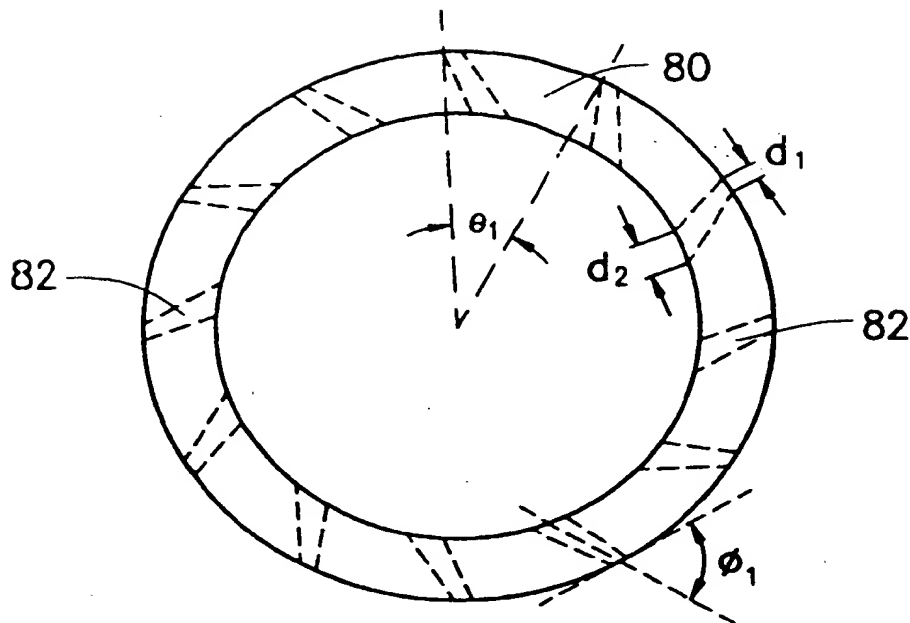


FIG. 8A

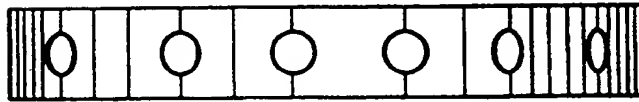


FIG. 8B

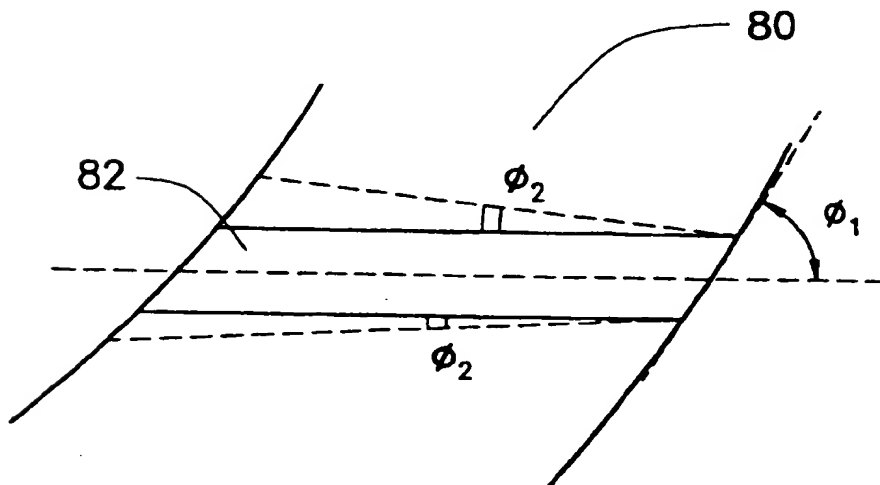


FIG. 8C

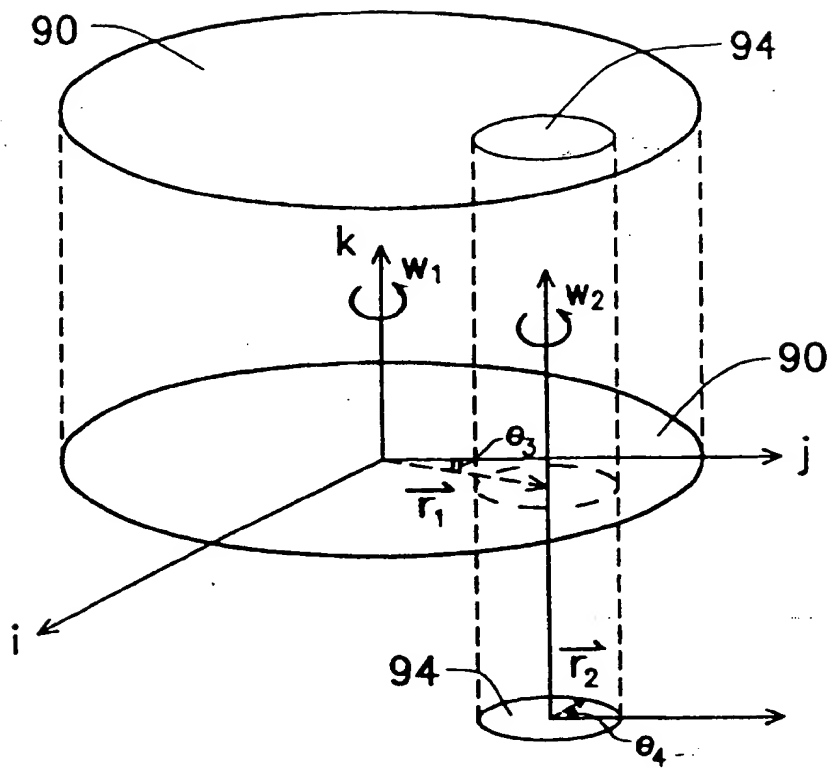


FIG. 9A

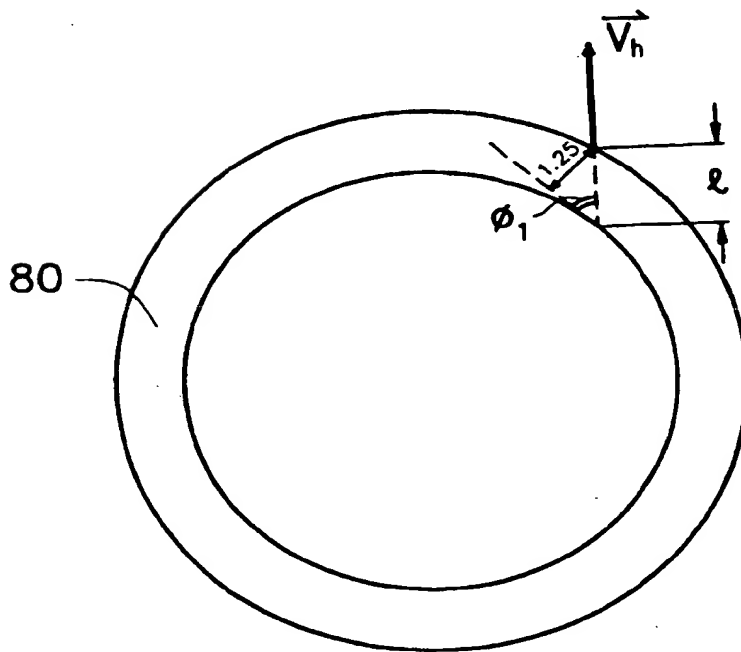


FIG. 9B

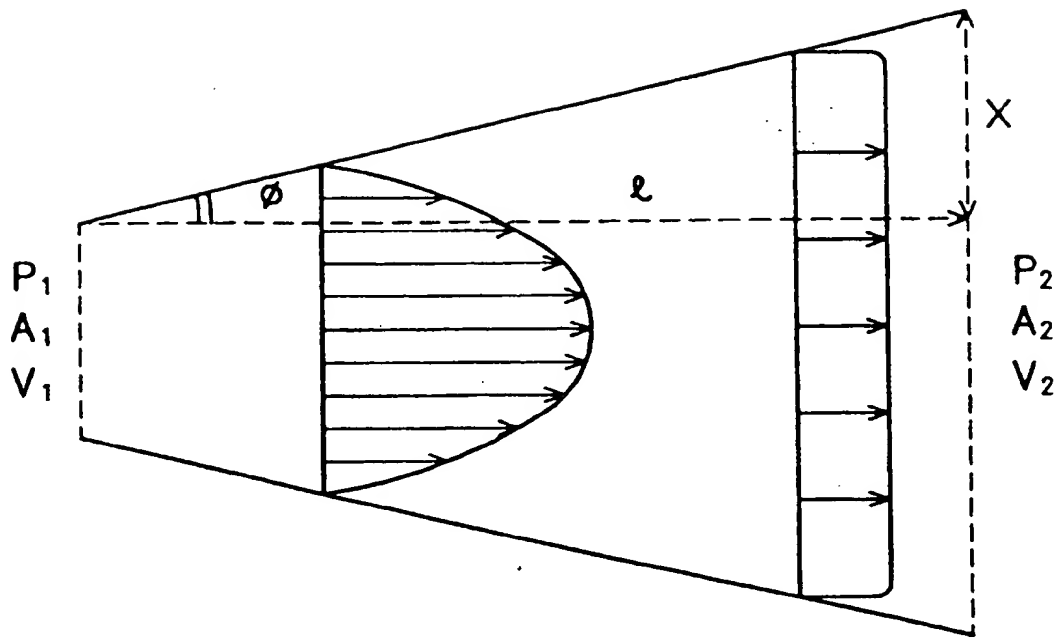


FIG. 9C

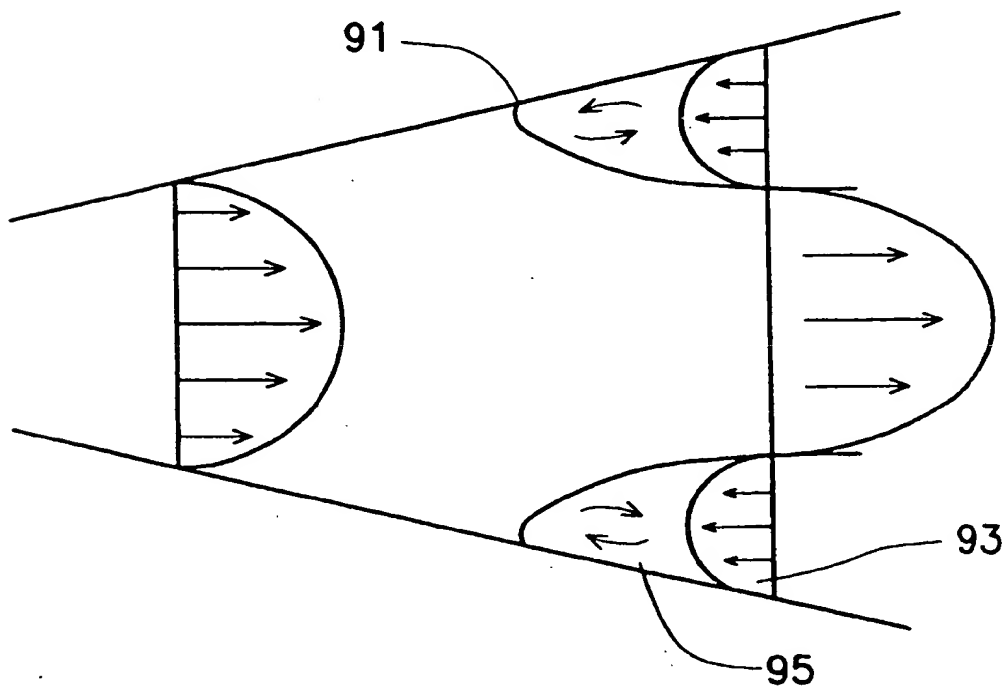


FIG. 9D

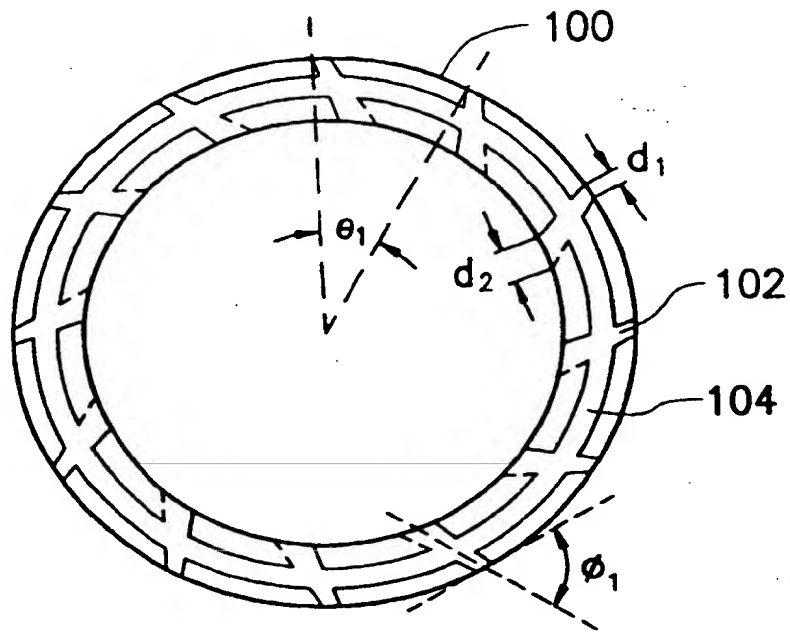


FIG. 10

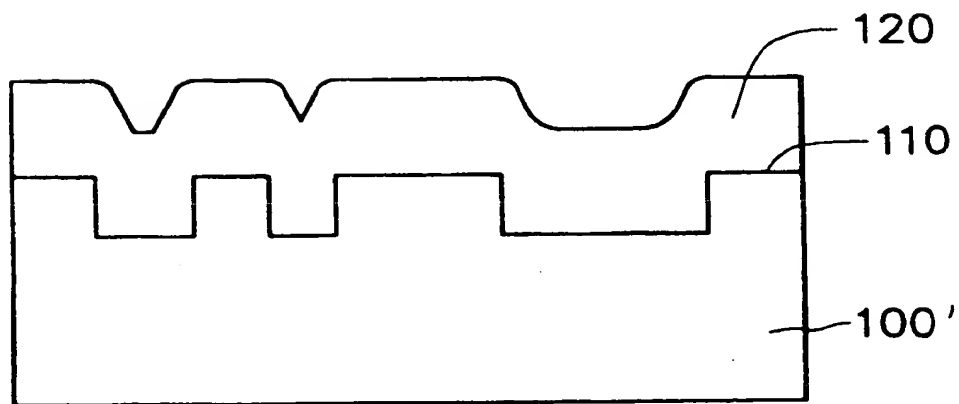


FIG. 11A

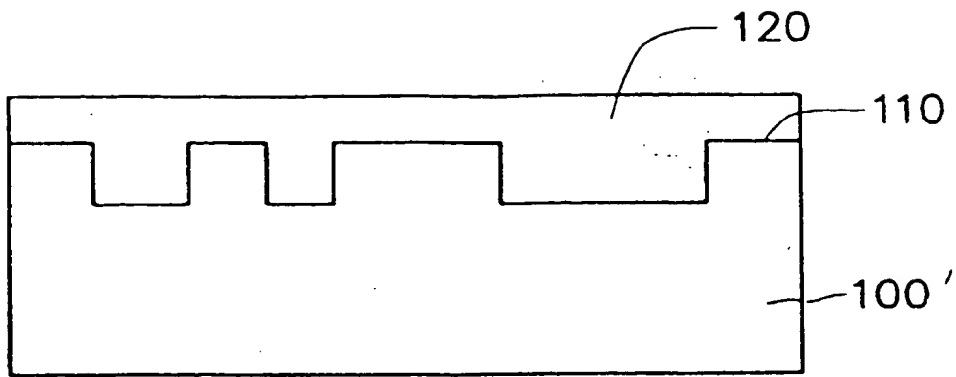


FIG. 11B

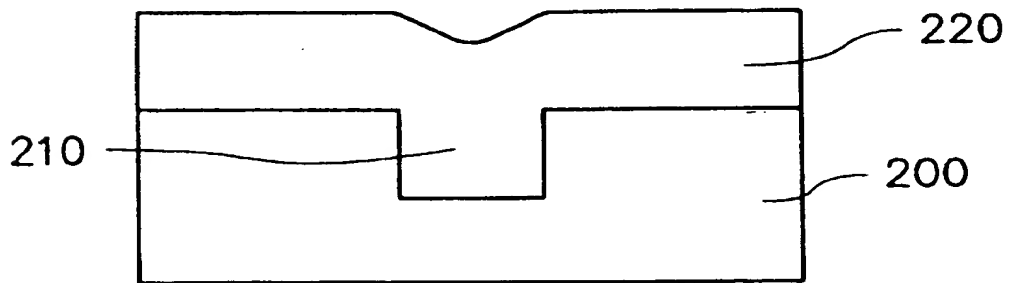


FIG. 12A

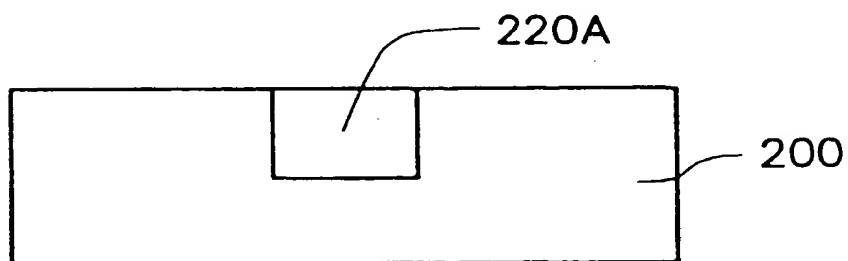


FIG. 12B

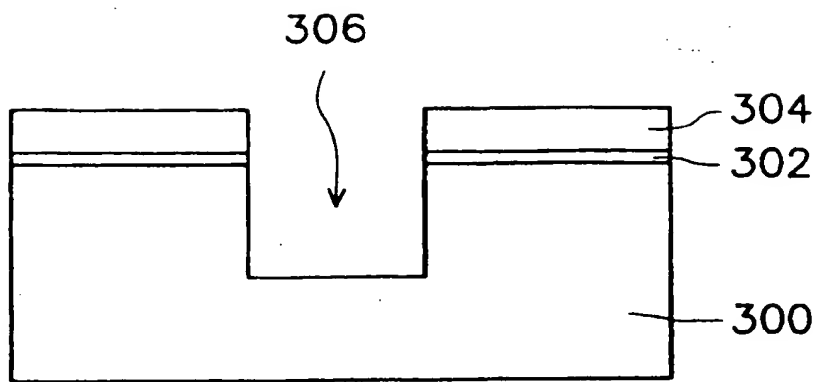


FIG. 13A

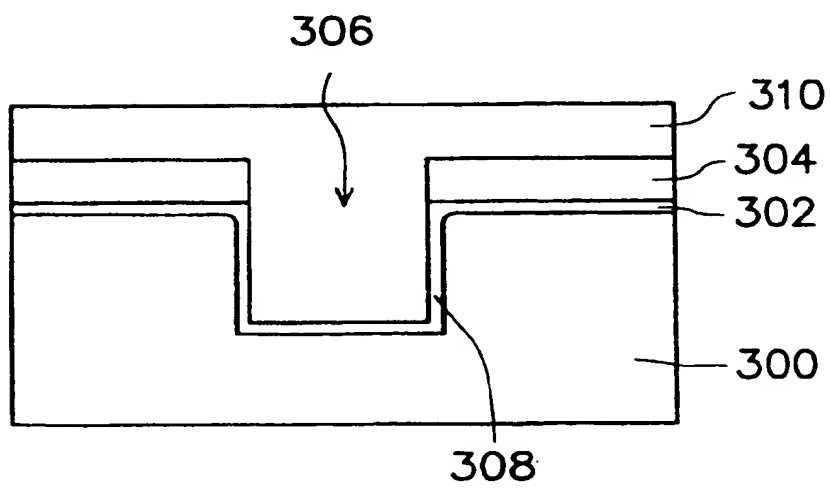


FIG. 13B

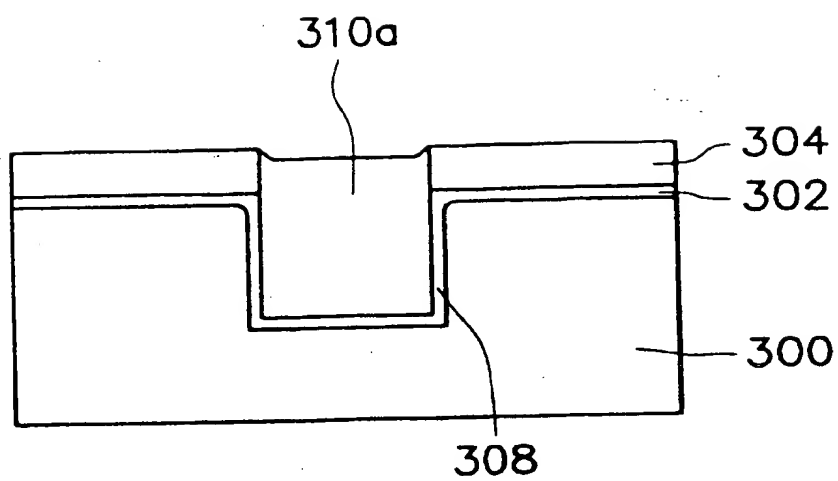


FIG. 13C

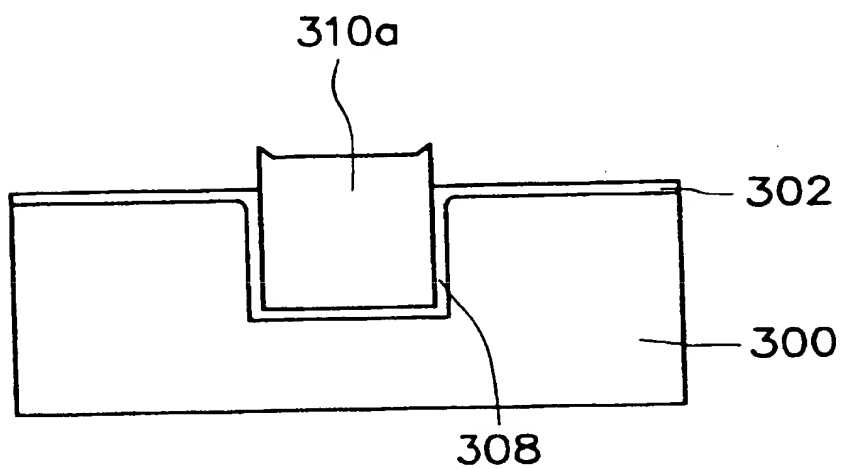


FIG. 13D